

Aus der Hals - Nasen - Ohren - Klinik
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. M. E. Wigand

DIE KALORISCHE PRÜFUNG DES VESTIBULARORGANS

Eine Untersuchung an 100 Gesunden zur Feststellung
von „Normwerten“ der kalorischen Labyrinthreaktion
anhand der maximalen Frequenz und der maximalen
Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Werner Karbaumer
aus Nürnberg

1981 № 338

Aus der Hals - Nasen - Ohren - Klinik
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. M. E. Wigand

DIE KALORISCHE PRÜFUNG DES VESTIBULARORGANS

Eine Untersuchung an 100 Gesunden zur Feststellung
von „Normwerten“ der kalorischen Labyrinthreaktion
anhand der maximalen Frequenz und der maximalen
Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Werner Karbaumer
aus Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten
Referent: Priv. Doz. Dr. T. Haid
Korreferent: Prof. Dr. M. E. Wigand

Tag der mündlichen Prüfung: 31.07.1981

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
2.	Anatomie und Physiologie des Vestibularapparats	3
2.1.	Das vestibulo-optomotorische System	3
2.2.	Der kalorische Nystagmus	5
3.	Methodik	7
3.1.	Untersuchungsgut	7
3.2.	Durchführung der kalorischen Prüfung	7
3.3.	Registrierung des kalorischen Nystagmus	8
3.4.	Auswertung des kalorischen Nystagmus	9
3.5.	Statistische Grundlagen	10
4.	Ergebnisse	12
4.1.	Absolute Zahlenwerte der Reaktionsintensität	12
4.1.1.	Maximale Frequenz/30 sec	12
4.1.2.	Maximale SPV/30 sec	15
4.2.	Seitendifferenz der Erregbarkeit	18
4.2.1.	Maximale Frequenz/30 sec	18
4.2.2.	Maximale SPV/30 sec	20
4.3.	Richtungsüberwiegen des Nystagmus	22
4.3.1.	Maximale Frequenz/30 sec	22
4.3.2.	Maximale SPV/30 sec	24
5.	Diskussion	26
5.1.	Diskussion der Methodik	26
5.2.	Diskussion der eigenen Ergebnisse	31
5.2.1.	Die "normale" kalorische Labyrinthreaktion	31
5.2.2.	Die "pathologische" kalorische Labyrinthreaktion	37

5.3.	Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren	44
5.4.	Wert der kalorischen Prüfung	53
6.	Zusammenfassung	55
7.	Literaturverzeichnis	57

1. EINLEITUNG

Der kalorischen Prüfung des Gleichgewichtsorgans kommt große diagnostische Bedeutung zu, weil nur sie eine seitengetrennte Beurteilung der Reaktionslage ermöglicht und außerdem wichtige Informationen darüber liefern kann, ob eine Störung zentralen oder peripheren Ursprungs ist.

Obwohl schon 1906 von BARANY (5) als Untersuchungsmethode in die Klinik eingeführt, zeichnet sich die kalorische Vestibularisprüfung bis heute leider durch unterschiedliche Durchführung, Auswertung und Dokumentation aus. Trotz der Bemühungen nationaler und internationaler Arbeitsgruppen hat man sich noch nicht auf eine standardisierte Methode einigen können.

Im Frühjahr 1979 fand eine Sitzung der Arbeitsgemeinschaft deutscher Audiologen und Neurootologen (ADANO) statt, wo auch über Standardisierungsvorschläge zur Vestibularisprüfung beraten wurde. Dort sollte auch ein von HAID, WIGAND (32) 1976 vorgestelltes Analogschema zur Darstellung von Ergebnissen der kalorischen Prüfung, das "Frequenz-Kalorigramm", zur Diskussion gestellt werden.

Das "Frequenz-Kalorigramm", das neben der leichten Erfassbarkeit verschiedener Reaktionsmuster, wie z. B. Unter- bzw. Übererregbarkeit, Seitendifferenz oder Richtungsüberwiegen (Kalt-Warm-Dissoziation) des Nystagmus, durch die Art der Darstellung auf die Lokalisation von Erregbarkeitsstörungen, zentral oder peripher, hinweist, sollte zusätzlich um die Information erweitert werden, in welcher Beziehung die jeweilige Reaktionslage des Untersuchten zu den Resultaten eines Kollektivs von Vestibularisgesunden steht.

Hierzu sollte auf der Basis von an Vestibularisgesunden gewonnenen Ergebnissen derjenige Teil der Skala zur Befundeintragung im "Frequenz-Kalorigramm" schraffiert dargestellt werden, der einer "normalen" kalorischen Labyrinthreaktion entspricht. In gleicher Weise wie für das "Frequenz-Kalorigramm" als Darstellung der Reaktionslage anhand des Parameters der Schlagzahl sollte dies auch für ein "SPV-Kalorigramm" geschehen, das entsprechend die Ergebnisse anhand des Parameters der Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase (SPV = slow phase velocity) wiedergibt.

In der vorliegenden Arbeit wurde zu diesem Zweck an 100 Vestibularisgesunden die kalorische Prüfung durchgeführt. Die auf der Basis dieser Ergebnisse geschaffenen Annäherungsbereiche einer "normalen" kalorischen Reaktion sollten entsprechend ins "Frequenz-" bzw. "SPV-Kalorigramm" übertragen werden. Darüberhinaus sollten auch für die Seitendifferenz der Erregbarkeit und für das Richtungsüberwiegen des Nystagmus Grenzwerte einer "normalen" Reaktion festgelegt werden.

2. ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DES VESTIBULARAPPARATS

2.1. Das vestibulo-optomotorische System

Das Gleichgewichtsorgan besteht aus zwei funktionell unterscheidbaren Systemen: dem Statolithenapparat und dem Bogengangsapparat. Beide dienen der Registrierung von Beschleunigung und Lageveränderung, und damit der Orientierung im Raum. Der Statolithenapparat, bestehend aus der Macula utriculi und der Macula sacculi, registriert vorwiegend Linearbeschleunigungen, und zwar, entsprechend der Anordnung, in den Dimensionen oben-unten und vorne-hinten. Drehbeschleunigungen in allen Dimensionen des Raumes werden durch den Bogengangsapparat erfaßt, der aus den drei nahezu senkrecht aufeinanderstehenden Cristae ampullares besteht. Beide Systeme liegen zusammen mit dem Gehörapparat, der Schnecke (Cochlea), als häutiges, mit Endolymphe gefülltes sogenanntes Labyrinthorgan, schwebend in einer Perilymphflüssigkeit gehalten, im Felsenbein des Schädels.

Die in den Bogengängen und Maculae gelegenen Sinnesrezeptoren des Vestibularorgans sind als Haarzellen ausgebildet, die auf eine Ablenkung ihrer Zilien reagieren. Dies geschieht in den Bogengängen dadurch, daß es entsprechend der Bewegungsrichtung des Kopfes in einem oder mehreren Bogengängen zu einem Zurückbleiben der Endolymphe, entsprechend ihrer Massenträgheit, und damit zu einer Relativbewegung in der der Kopfdrehung entgegengesetzten Richtung kommt, was zu einer Ablenkung der in den Bogengang hineinragenden Haarzellfortsätzen führt. Im Statolithenapparat sind kleine Kalziumkristalle, eingebettet in eine gallertartige Deckschicht, über den Haarzellfortsätzen gelagert, die dort einen konstanten Druck ausüben. Durch lineare Beschleunigung kommt es hier zu Druckzu- oder -abnahme, was ebenfalls zu einer Ablenkung der Zilien führt. Auf diese Weise können die vestibulären Sinnesorgane jede Bewegung präzise registrieren.

Die Nervenfasern vom Vestibularorgan ziehen als Nervus vestibularis durch den inneren Gehörgang zum Rautenhirn, wo sie in den Vestibulariskernen enden. Von dort aus bestehen Verbindungen zum Rückenmark, zur Formatio reticularis, zum Kleinhirn und zu den Augenmuskelkernen, außerdem bestehen über den Thala-

mus Verbindungen zur Großhirnrinde (siehe Abb. 1). Diese Verbindungen sind so verknüpft, daß über die Informationen vom Bogengangssystem vor allem die Blickbewegungen reguliert werden, während mit Hilfe der Maculae vorwiegend der Tonus von Hals- und Streckermuskulatur geregelt wird.

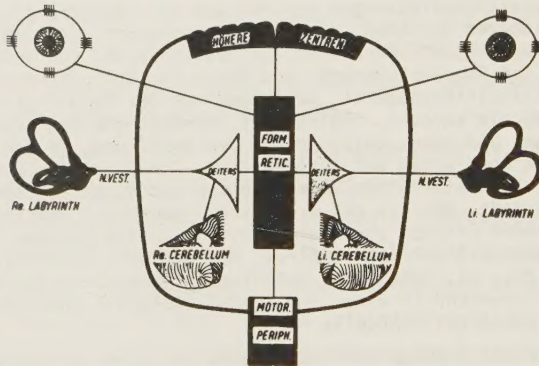


Abb. 1 Stellung des Labyrinthorgans im vestibulo-optomotorischen System; nach WIGAND (71)

Das Vestibularorgan, zusammen mit seinen vielfältigen Verbindungen auch als vestibulo-optomotorisches System bezeichnet, macht es auf diese Weise möglich, daß bei jeder Art von Bewegung das Gleichgewicht aufrechterhalten werden kann und dabei ein stets ruhendes, aufrecht stehendes Bild der Umwelt wahrgenommen wird (41, 44, 45, 69).

2.2. Der kalorische Nystagmus

Von den Augenmuskelnkernen werden über die vom Bogengangsapparat übermittelten Informationen entsprechende Bewegungen der Augenbulbi gesteuert, die darauf abzielen, einen Fixierungspunkt festzuhalten. Wird zum Beispiel eine Versuchsperson auf einem Drehstuhl rotiert, kann man beobachten, daß die Augen in einer ersten (langsamen) Phase gegenüber der Drehung zurückbleiben, anschließend gehen sie dann in einer zweiten (ruckartigen) Phase in die ursprüngliche Stellung zurück. Diese Bewegung der Augen nennt man Nystagmus, wobei nur die langsame Phase labyrinthär bedingt ist, während die ruckartige Phase eine zentral gesteuerte, reflektorische Korrekturbewegung darstellt. Die Richtung des Nystagmus wird aber trotzdem in allgemeiner Übereinkunft nach der schnellen Phase benannt, weil diese leichter zu registrieren ist.

Wenn man nun anstelle des physiologischen Reizes der Drehbeschleunigung durch kalorische Reize Endolymphströmungen erzeugt, spricht man bei der daraus resultierenden Augenbewegung vom kalorischen Nystagmus. Die ersten Beobachtungen dieses Phänomens stammen von BROWN-SEQUARD (11) und BREUER (10), die beim Einbringen von kaltem Wasser in den äußeren Gehörgang Schwindel und Nystagmus auslösten. 1906 hat dann BARANY (5) als erster systematische Untersuchungen und klinische Erfahrungen über die kalorische Reaktion veröffentlicht. Von BARANY stammt auch die bis heute anerkannte Theorie über den kalorischen Nystagmus, wofür ihm auch der Nobelpreis verliehen wurde.

Durch die Kalt- bzw. Warmspülung des äußeren Gehörgangs kommt es zu Temperaturveränderungen in den angrenzenden Teilen des Felsenbeins. Dabei wird der horizontale Bogengang an seiner am weitesten lateral ausladenden Konvexität als erster von der Abkühlung oder Erwärmung betroffen. Entsprechende Temperaturänderungen gehen dort auf die Endolymph über und verändern dadurch deren spezifisches Gewicht, woraufhin die Endolymph im Bogengang aufsteigt (Erwärmung) oder absinkt (Abkühlung) und damit eine Ablenkung der in den Bogengang hineinreichenden Haarzellfortsätze bedingt. Der so erzeugte kalorische Nystagmus ist entsprechend der Temperaturänderung entweder zur Seite der Spülung gerichtet (Erwärmung), oder aber zur Gegenseite (Abkühlung). Da der horizontale Bogengang nicht genau in der Horizontalen liegt, sondern in einem Winkel

von etwa 30^0 nach vorne aufsteigend, und die stärkste Endolymphströmung in vertikaler Stellung des horizontalen Bogengangs zu erwarten ist, ist auch die Intensität des kalorischen Nystagmus bei um ca. 60^0 nach hinten über gebeugtem Kopf am größten (41, 42, 45, 46, 51, 65, 69, 70).

3. METHODIK

3.1. Untersuchungsgut

Untersucht wurden 100 gesunde Probanden im Alter von 16 bis 70 Jahren, von denen 46 weiblichen und 54 männlichen Geschlechts waren. In die Untersuchung aufgenommen wurden nur Personen, die folgende Kriterien erfüllten:

- keinerlei Beschwerden seitens des Gehörs sowie des Gleichgewichtsorgans
- kein Schädel-Hirntrauma in der Anamnese
- regelrechter Trommelfellbefund
- vor der Untersuchung wurde ein Spontannystagmus ausgeschlossen.

Hier ist noch zu bemerken, daß bei vier ursprünglich für die Untersuchung vorgesehenen Probanden diese nicht vollständig durchgeführt werden konnte; bei zwei Probanden konnte bei geschlossenen Augen, möglicherweise durch den Lidschluß bedingt, kein verwertbarer Nystagmus erzeugt werden, während bei zwei anderen Probanden die Untersuchung wegen starker vegetativer Begleitreaktionen, einmal kam es sogar zum Erbrechen, vorzeitig abgebrochen werden mußte.

3.2. Durchführung der kalorischen Prüfung

Als Reizmedium wurde für die Untersuchung Wasser verwendet, das in thermostatgeregelten Wasserbädern auf Temperaturen von

30° bzw. 44° konstant gehalten wurde.

Die Spülung erfolgte mittels einer gläsernen Spritze über einen daran angebrachten Gummischlauch, der mit Hilfe einer Markierung ca. 25 mm in den äußeren Gehörgang eingeführt wurde. Bis zur jeweils nächsten Spülung wurde die Spritze im entsprechenden Wasserbad auf die notwendige Temperatur erwärmt.

Der Abfluß aus dem Ohr wurde mit einer Nierenschale aufgefangen.

Innerhalb eines Zeitraums von 30 Sekunden wurden jeweils 100 ml Wasser in den äußeren Gehörgang gespült. Die Spülungen erfolgten dabei immer in folgender Reihenfolge: re 44°, li 44°, li 30°, re 30°.

Zwischen den einzelnen Spülungen wurde eine Pause von mindestens acht Minuten eingehalten.

Zur Durchführung der Spülung wurde der Proband aus sitzender Position mittels einer klappbaren Lehne in eine um ca. 60° nach hinten gebeugte Stellung gebracht, in der anschließend auch die Registrierung des Nystagmus vorgenommen wurde.

3.3. Registrierung des kalorischen Nystagmus

Der Nystagmus wurde mittels Elektronystagmographie registriert, d. h. durch Ableiten und entsprechende Verstärkung des retino-cornealen Potentials über seitlich der Augen auf der Haut angelegte Elektroden. Die Aufzeichnung auf Papier erfolgte durch einen Vierkanalschreiber (Elektronystagmograph, Fa. Schwarzer, München). Der Papiervorlauf des Geräts betrug 10 mm/sec; die Verstärker wurden so eingestellt, daß einem Blickwinkel von

10° ein Ausschlag des Schreibers von 1 cm entsprach. Diese Kalibrierung wurde zwischen den einzelnen Registriervorgängen wiederholt.

Die Registrierung wurde bei geschlossenen Augen des Probanden vorgenommen.

Um einen gleichmäßig hohen Aufmerksamkeitsgrad (Vigilanzniveau) während der Registrierung des Nystagmus zu erzielen, wurde der Proband aufgefordert, Rechenaufgaben im Kopf auszuführen, wie z. B. fortlaufende Subtraktionen oder Divisionen.

3.4. Auswertung des kalorischen Nystagmus

Die Auswertung des kalorischen Nystagmus wurde für zwei Parameter, die maximale Frequenz (Schlagzahl) und die maximale Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase (SPV = slow phase velocity), vorgenommen, und zwar jeweils innerhalb der Kulminationszeit von 30 Sekunden, d. h. in der Zeit der größten Reaktionsintensität. Hierzu wurden die elektronystagmographischen Kurven in Abschnitte von zehn Sekunden eingeteilt. Danach wurde der leicht erkennbare Abschnitt mit der größten Reaktionsintensität und die beiden jeweils benachbarten Abschnitte für die Auswertung herangezogen.

Die Schlagzahl innerhalb der Kulminationszeit wurde durch einfache optische Auszählung ermittelt, wobei nur eindeutige Nystagmusschläge gezählt wurden.

Zur Ermittlung der maximalen SPV innerhalb der Kulminationszeit wurden dort diejenigen langsamen Nystagmusphasen mit dem steilsten Verlauf aufgesucht, deren Basis horizontal verlief

und die als repräsentativ für den entsprechenden Abschnitt anzusehen waren. An die drei steilsten dieser langsamen Phasen wurden Tangenten angelegt, deren Steilheit gemittelt, und anschließend entsprechend der Kalibrierung in Winkelgrade pro Sekunde umgerechnet.

3.5. Statistische Grundlagen

Für die verschiedenen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurden jeweils der arithmetische Mittelwert (m) und als Maß für die Streuung der Ergebnisse die empirische Standardabweichung (s) berechnet.

Nach den Vorschlägen von MULCH et al. (52, 54) werden für die absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität daneben jeweils der Median und verschiedene Interquantilbereiche angegeben. Die Interquantilbereiche sind Prozentbereiche, innerhalb derer sich die Ergebnisse von z. B. 80, 90 oder 94 % des Untersuchungskollektivs befinden. Diese Interquantilbereiche sind heute in der Medizin allgemein gebräuchlich (z. B. Geigy Tabellen) und erscheinen deshalb sinnvoll, weil die Ergebnisse der kalorischen Prüfung, wie viele andere Größen in der Medizin und Biologie, nicht im strengen Sinne normalverteilt sind. Zum Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher (siehe 5.3.) sind dort bei den absoluten Zahlenwerten der Reaktionsintensität als Maß für die Streuung die Variationskoeffizienten in Prozent angegeben, d. h. die Streuung in Abhängigkeit vom jeweiligen Mittelwert (s/m).

Zum Vergleich der von verschiedenen Autoren angegebenen Werte für die Seitendifferenz der Erregbarkeit und das Richtungs-

überwiegen des Nystagmus sind dort die von den meisten Autoren als Grenzwerte einer "normalen" Reaktion angesehenen Werte der zweifachen Standardabweichung vom Mittelwert ($m \pm 2s$) angegeben. Innerhalb dieses Bereichs befinden sich laut Definition ca. 95 % der Ergebnisse eines Untersuchungskollektivs bei normalverteilten Werten (9, 38).

4. ERGEBNISSE

4.1. Absolute Zahlenwerte der Reaktionsintensität

Aus den elektronystagmographischen Kurven aller 400 Spülungen an den 100 Probanden wurden die absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität für die beiden Parameter maximale Frequenz (Schlagzahl) und maximale SPV (slow phase velocity) ermittelt.

4.1.1. Maximale Frequenz/30 sec

Die Tab. 1 gibt über die Verteilung der gemessenen Schlagzahlen Auskunft, und zwar getrennt für die einzelnen Spülungen und die Summe aller Spülungen. Die verschiedenen Schlagzahlen wurden dazu in zehn gleich große Bereiche zwischen 10 und 110 Schlägen eingeteilt.

Im unteren Teil der Tab. 1 sind die aus den Zahlenwerten der Reaktionsintensität errechneten Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) angegeben.

Die meisten Ergebnisse liegen in den Bereichen zwischen 30 und 70 Schlägen/30 sec. In diesen vier Frequenzbereichen liegen jeweils nahezu 20 % der Ergebnisse der einzelnen Spülungen. Von allen 400 Ergebnissen lagen 291, das sind 72,75 %, zwischen 30 und 70 Schlägen/30 sec.

Eine Frequenz unter 30 Schlägen/30 sec wurde bei insgesamt 19 von 400 Spülungen gemessen, das sind 4,75 %, wobei in zwei Fällen eine Frequenz unter 20 Schlägen vorlag.

max. Frequenz / 30 sec	re 44 ⁰	li 44 ⁰	li 30 ⁰	re 30 ⁰	Summe
10 - u. 20	--	--	1	1	2
20 - u. 30	2	6	5	4	17
30 - u. 40	23	18	13	14	68
40 - u. 50	22	16	25	17	80
50 - u. 60	21	16	15	20	72
60 - u. 70	16	14	17	24	71
70 - u. 80	7	19	14	9	49
80 - u. 90	5	7	5	10	27
90 - u. 100	3	3	5	1	12
100 - u. 110	1	1	--	--	2
Summe	100	100	100	100	400
Mittelwert m	53,1	56,6	55,7	55,9	55,3
Standardabweichg. s	17,4	19,1	17,8	17,1	17,9

Tab. 1 Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardabweichungen der an 100 Gesunden gemessenen maximalen Frequenz/30 sec

Eine Frequenz von mehr als 70 Schlägen/30 sec wurde bei 90 von 400 Spülungen (22,5 %) gemessen. Dabei kam zweimal eine Schlagzahl von mehr als 100 vor.

Als Mittelwert aller 400 Spülungen wurde eine Frequenz von 55,3 Schlägen/30 sec errechnet. Die Standardabweichung betrug dabei 17,9 Schläge. Die für die einzelnen Spülungen errechneten Mittelwerte liegen zwischen 53,1 Schlägen/30 sec (re 44⁰) und 56,6 Schlägen/30 sec (li 44⁰). Die Standardabweichungen liegen dabei zwischen 17,1 (re 30⁰) und 19,1 Schlägen (li 44⁰).

Für die Ergebnisse der maximalen Frequenz/30 sec sind in der Tab. 2 die Mediane und Interquantilbereiche angegeben, und zwar getrennt für die einzelnen Spülungen und die Summe aller Spülungen.

	Minimal- werte 100 %	94 %	90 %	80 %	Median	80 %	90 %	94 %	Maximal- werte 100 %
re 44°	26	30	30	31	51,0	79	86	91	110
li 44°	20	28	29	33	56,0	80	85	96	105
li 30°	18	28	29	33	57,0	79	88	91	98
re 30°	14	29	30	33	56,5	81	84	86	96
alle Spülungen	14	29	30	33	55,0	80	86	91	110

Tab. 2 Mediane und Interquantilbereiche der an 100 Gesunden gemessenen maximalen Frequenz/30 sec

Als Grenzwerte des 100 %-Interquantils sind die jeweils bei den einzelnen Spülungen gemessenen niedrigsten und höchsten Schlagzahlen zu finden.

Die niedrigste gemessene Frequenz bei allen 400 Spülungen betrug 14 Schläge/30 sec, während die höchste gemessene Frequenz 110 Schläge/30 sec war.

90 % aller Ergebnisse bei den 400 Spülungen lagen zwischen 30 und 86 Schlägen/30 sec.

Die Mediane der Ergebnisse bei den einzelnen Spülungen lagen zwischen 51,0 und 57,0 Schlägen/30 sec. Der Median aller Ergebnisse lag bei 55,0 Schlägen.

4.1.2. Maximale SPV/30 sec

Über die Verteilung der gemessenen Winkelgeschwindigkeiten gibt die Tab. 3 Auskunft, und zwar getrennt für die einzelnen Spülungen und die Summe aller Spülungen. Die verschiedenen gemessenen Winkelgeschwindigkeiten wurden dazu in neun gleich große Bereiche zwischen unter $5^{\circ}/\text{sec}$ und $45^{\circ}/\text{sec}$ eingeteilt. Im unteren Teil der Tab. 3 sind die aus den entsprechenden Zahlenwerten der Reaktionsintensität errechneten Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Jeweils etwa die Hälfte aller Ergebnisse bei den einzelnen Spülungen ergaben eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $10^{\circ}/\text{sec}$ und $20^{\circ}/\text{sec}$. Von allen 400 gemessenen Werten lagen 192 (48 %) in diesem Bereich.

Eine Winkelgeschwindigkeit unter $10^{\circ}/\text{sec}$ wurde bei 66 von 400 Spülungen (16,5 %) gemessen. Darunter waren neun Ergebnisse mit einer Winkelgeschwindigkeit unter $5^{\circ}/\text{sec}$, also bei 2,25 % aller Spülungen. Eine maximale SPV/30 sec über $20^{\circ}/\text{sec}$ wurde bei 142 der 400 Spülungen (35,5 %) gemessen. Eine Winkelgeschwindigkeit über $30^{\circ}/\text{sec}$ kam bei 41 Spülungen vor, darunter zehnmal eine maximale SPV von mehr als $40^{\circ}/\text{sec}$, also bei 2,5 % aller Spülungen.

max. SPV / 30 sec	re 44°	li 44°	li 30°	re 30°	Summe
0 - u. 5	1	4	--	4	9
5 - u. 10	15	13	14	15	57
10 - u. 15	41	26	25	19	111
15 - u. 20	16	17	23	25	81
20 - u. 25	11	19	19	16	65
25 - u. 30	9	11	7	9	36
30 - u. 35	5	3	5	11	24
35 - u. 40	--	4	3	--	7
40 - u. 45	2	3	4	1	10
Summe	100	100	100	100	400
Mittelwert m	16,0	17,6	18,3	17,4	17,3
Standardabweichg. s	7,9	9,0	8,8	8,3	8,5

Tab. 3 Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardabweichungen der an 100 Gesunden gemessenen maximalen SPV/30 sec

Für die maximale SPV/30 sec errechnete sich aus den Ergebnissen aller 400 Spülungen ein Mittelwert von $17,3^0/\text{sec}$. Die Standardabweichung war dabei $8,5^0$. Die für die Ergebnisse der einzelnen Spülungen errechneten Mittelwerte lagen zwischen $16,0^0/\text{sec}$ (re 44^0) und $18,3^0/\text{sec}$ (li 30^0). Die Standardabweichungen betrugen dabei zwischen $7,9^0$ (re 44^0) und $9,0^0$ (li 44^0).

In der Tab. 4 sind Mediane und Interquantilbereiche der gemessenen Winkelgeschwindigkeiten angegeben, und zwar getrennt für die einzelnen Spülungen und die Summe aller Spülungen.

	Minimal- werte 100%	94% 90% 80%	Median	80% 90% 94%	Maximal- werte 100%
re 44°	4	6 6 7	13,0	28 30 33	40
li 44°	2	3 5 7	16,0	29 36 38	44
li 30°	5	7 7 8	17,0	32 37 40	42
re 30°	3	4 5 7	17,0	30 32 33	40
alle Spülungen	2	5 6 7	16,0	30 33 37	44

Tab. 4 Mediane und Interquantilbereiche der an 100 Gesunden gemessenen maximalen SPV/30 sec

Die Grenzwerte des 100 %-Interquantils geben die jeweils kleinste bzw. größte gemessene Winkelgeschwindigkeit der einzelnen Spülungen an.

Die bei allen 400 Spülungen gemessenen Winkelgeschwindigkeiten variierten zwischen 2°/sec als kleinste SPV/30 sec (li 44°) und 44°/sec als größte gemessene Winkelgeschwindigkeit (li 44°).

90 % aller Ergebnisse der 400 Spülungen ergaben Winkelgeschwindigkeiten zwischen 6°/sec und 33°/sec.

Die Mediane für die Ergebnisse der einzelnen Spülungen liegen zwischen 13,0°/sec und 17,0°/sec. Der Median aller Ergebnisse ergibt eine Winkelgeschwindigkeit von 16,0°/sec.

4.2. Seitendifferenz der Erregbarkeit

Aus den absoluten Zahlenwerten der Reaktionsintensität wurde die Seitendifferenz der Erregbarkeit nach der von JONGKEES et al. (43) vorgeschlagenen und entsprechend den Standardisierungsvorschlägen von HENRIKSSON et al. (37) modifizierten Formel als Prozentwert der Gesamtreaktion wie folgt berechnet:

Seitendifferenz in %:

$$\frac{(\text{re } 30^0 + \text{re } 44^0) - (\text{li } 30^0 + \text{li } 44^0)}{(\text{re } 30^0 + \text{li } 30^0 + \text{re } 44^0 + \text{li } 44^0)} \times 100 \%$$

Entsprechend dieser Formel ergibt sich

- ein positives Vorzeichen für die Werte der Seitendifferenz bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität auf der rechten Seite,
- ein negatives Vorzeichen für die Werte der Seitendifferenz bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität auf der linken Seite.

4.2.1. Maximale Frequenz/30 sec

Die Verteilung der aus den Ergebnissen der 100 Probanden errechneten Prozentwerte der Seitendifferenz anhand des Parameters maximale Frequenz/30 sec zeigt die Abb. 2.

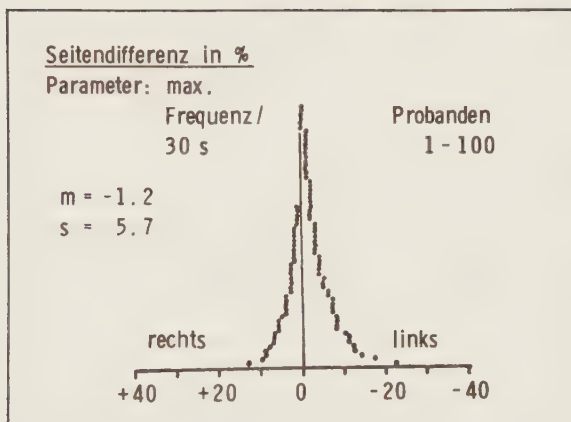


Abb. 2 Verteilung der an 100 Gesunden ermittelten Seitendifferenz der Erregbarkeit anhand der maximalen Frequenz (als Prozentwert der Gesamtreaktion)

Von den 100 Probanden zeigten 38 ein Überwiegen der Reaktionsintensität auf der rechten Seite, 56 ein Überwiegen der Nystagmusreaktion auf der linken Seite, während bei sechs weiteren Probanden anhand der maximalen Frequenz/30 sec keine Seitendifferenz der Erregbarkeit festgestellt wurde.

Eine Seitendifferenz von mehr als 10 % fand sich bei acht der 100 Probanden, darunter sieben mit einem Überwiegen der Reaktion auf der linken Seite und ein Proband mit einem Überwiegen auf der rechten Seite.

Bei einem der 100 Probanden zeigte sich eine Seitendifferenz von mehr als 20 %, und zwar mit einem Überwiegen auf der linken

Seite (- 22 %). Der aus den Prozentwerten der Seitendifferenz aller 100 Probanden errechnete Mittelwert beträgt - 1,2 %, d. h. ein leichtes Überwiegen der Reaktion auf der linken Seite. Die Standardabweichung ergab einen Wert von 5,7 %.

4.2.2. Maximale SPV/30 sec

Die Verteilung der aus den Ergebnissen der 100 Probanden errechneten Prozentwerte der Seitendifferenz anhand des Parameters maximale SPV/30 sec zeigt die Abb. 3.

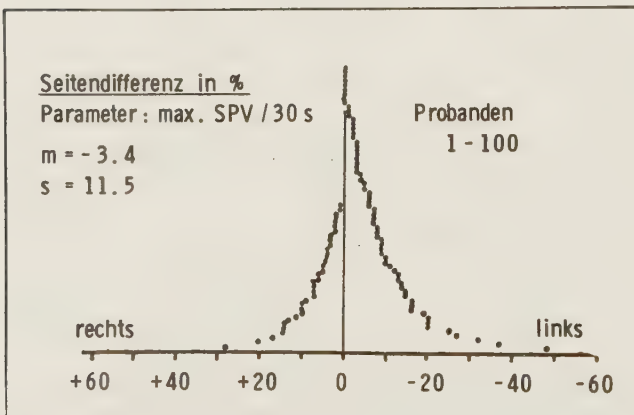


Abb. 3 Verteilung der an 100 Gesunden ermittelten Seitendifferenz der Erregbarkeit anhand der maximalen SPV (als Prozentwert der Gesamtreaktion)

Von den 100 Probanden zeigten 34 ein Überwiegen der Reaktionsintensität auf der rechten Seite, 57 wiesen eine überwiegende Reaktion auf der linken Seite auf, während bei neun Probanden keine Seitendifferenz der Erregbarkeit anhand der maximalen SPV/30 sec festgestellt werden konnte. Eine Seitendifferenz von mehr als 10 % wurde bei 28 der 100 Probanden ermittelt, davon acht mit einem Überwiegen der Reaktion auf der rechten Seite und 20 Probanden mit einer überwiegenden Reaktion auf der linken Seite. Eine Seitendifferenz von mehr als 20 % errechnete sich bei sechs der 100 Probanden, wovon einer ein Überwiegen der Reaktion auf der rechten Seite aufwies, während fünf Probanden eine überwiegende Reaktion auf der linken Seite aufwiesen.

Drei der 100 Probanden zeigten anhand der maximalen SPV eine Seitendifferenz der Erregbarkeit von mehr als 30 %, und zwar alle mit einem Überwiegen der Reaktion auf der linken Seite, darunter auch der größte ermittelte Wert der Seitendifferenz von - 48 %.

Aus den Werten aller 100 Probanden errechnete sich ein Mittelwert der Seitendifferenz anhand der maximalen SPV/30 sec von - 3,4 %, also ein leichtes Überwiegen der Reaktionsintensität auf der linken Seite. Die Standardabweichung ergab einen Wert von 11,5 %.

4.3. Richtungsüberwiegen des Nystagmus

Aus den absoluten Zahlenwerten der Reaktionsintensität wurde das Richtungsüberwiegen des Nystagmus nach der von JONGKEES et al. (43) stammenden, geringfügig modifizierten Formel (37) als Prozentwert der Gesamtreaktion wie folgt berechnet:

Richtungsüberwiegen in %:

$$\frac{(\text{re } 30^{\circ} + \text{li } 44^{\circ}) - (\text{li } 30^{\circ} + \text{re } 44^{\circ})}{(\text{re } 30^{\circ} + \text{li } 30^{\circ} + \text{re } 44^{\circ} + \text{li } 44^{\circ})} \times 100 \%$$

Entsprechend dieser Formel ergibt sich

- ein positives Vorzeichen für die Werte des Richtungsüberwiegens bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität des nach links gerichteten Nystagmus,
- ein negatives Vorzeichen für die Werte des Richtungsüberwiegens bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität des nach rechts gerichteten Nystagmus.

4.3.1. Maximale Frequenz/30 sec

Die Verteilung der für die 100 Probanden errechneten Prozentwerte des Richtungsüberwiegens anhand des Parameters maximale Frequenz/30 sec zeigt die Abb. 4.

Von den 100 Probanden zeigten 42 ein Überwiegen der Reaktionsintensität des nach rechts gerichteten Nystagmus, 51 ein Überwiegen der Intensität des nach links gerichteten Nystagmus,

während bei sieben Probanden anhand der maximalen Frequenz/ 30 sec kein Richtungsüberwiegen des Nystagmus festgestellt wurde.

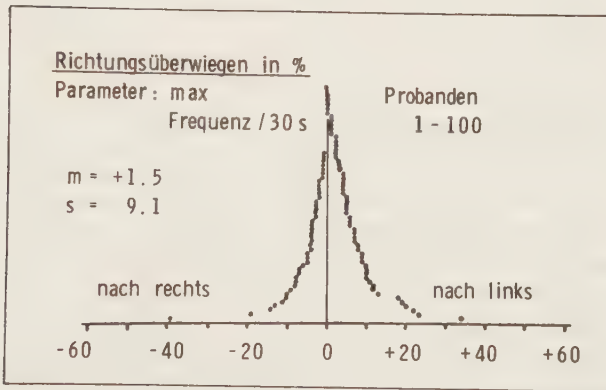


Abb. 4 Verteilung des an 100 Gesunden ermittelten Richtungsüberwiegens des Nystagmus anhand der maximalen Frequenz (als Prozentwert der Gesamtreaktion)

Ein Richtungsüberwiegen von mehr als 10 % errechnete sich bei 15 der 100 Probanden, davon fünf mit einem Überwiegen des nach rechts gerichteten Nystagmus und zehn Probanden mit einem Überwiegen des nach links gerichteten Nystagmus. Bei vier Probanden wurde ein Richtungsüberwiegen des Nystagmus von mehr als 20 % ermittelt, darunter einer mit einem Über-

wiegen des nach rechts gerichteten Nystagmus, für den auch der höchste überhaupt gemessene Prozentwert des Richtungsüberwiegens gemessen wurde (- 39 %).

Der aus den Prozentwerten des Richtungsüberwiegens des Nystagmus aller 100 Probanden errechnete Mittelwert beträgt + 1,5 %, d. h. ein leichtes Überwiegen des nach links gerichteten Nystagmus. Die Standardabweichung ergab einen Wert von 9,1 %.

4.3.2. Maximale SPV/30 sec

Die Verteilung der für die 100 Probanden errechneten Prozentwerte des Richtungsüberwiegens des Nystagmus anhand des Parameters maximale SPV/30 sec zeigt die Abb. 5

Von den 100 Probanden zeigten 47 ein Überwiegen der Reaktionsintensität des nach rechts gerichteten Nystagmus, 50 eine überwiegende Intensität des nach links gerichteten Nystagmus, während für drei der 100 Probanden anhand der maximalen SPV/30 sec kein Richtungsüberwiegen des Nystagmus ermittelt wurde. Ein Richtungsüberwiegen des Nystagmus von mehr als 10 % fand sich bei 34 der 100 Probanden, darunter 16 Probanden mit einem Überwiegen des nach rechts gerichteten Nystagmus und 18 Probanden mit einer überwiegenden Reaktionsintensität des nach links gerichteten Nystagmus.

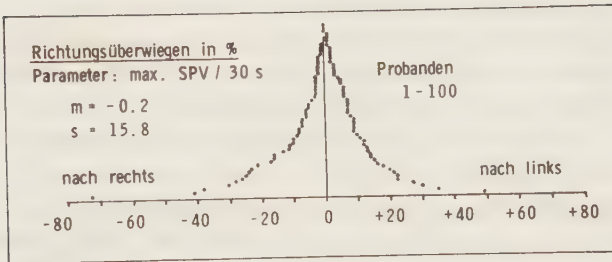


Abb. 5 Verteilung des an 100 Gesunden ermittelten Richtungsüberwiegens des Nystagmus anhand der maximalen SPV (in Prozent der Gesamtreaktion)

Fünf der 100 Probanden zeigten anhand der maximalen SPV ein Richtungsüberwiegen von mehr als 30 %, wovon bei zwei Probanden der nach links gerichtete Nystagmus überwog und bei drei Probanden ein Überwiegen des nach rechts gerichteten Nystagmus vorlag, darunter einer mit dem höchsten für das Richtungsüberwiegen anhand der SPV gemessenen Wert von - 72 %.

Aus den Prozentwerten des Richtungsüberwiegens aller 100 Probanden errechnete sich anhand der maximalen SPV/30 sec ein Mittelwert von - 0,2 %, d. h. nahezu kein Überwiegen der Reaktionsintensität einer Nystagmusrichtung. Die Standardabweichung betrug dabei 15,8 %.

5. DISKUSSION

5.1. Diskussion der Methodik

Wie einleitend erwähnt, liegt bis heute keine einheitliche Methode zur Durchführung, Registrierung und Auswertung der kalorischen Vestibularisprüfung vor, obwohl viele Vorschläge zur Standardisierung dieser Untersuchung gemacht wurden (1, 16, 25, 28, 32, 34, 37, 52, 61).

Da die Ergebnisse der kalorischen Prüfung nicht nur von der individuellen Reaktionslage des Untersuchten abhängen, sondern auch zum Teil wesentlich von der jeweils angewendeten Methode, erscheint es notwendig, die verschiedenen gebräuchlichen Methoden der kalorischen Vestibularisprüfung, insbesondere hinsichtlich ihres Einflusses auf das Untersuchungsergebnis, zu besprechen.

Über die Anwendung von Wasser als dem geeignetsten Reizmedium besteht kaum Uneinigkeit, weil bei Wasser die Reizstärke durch die gewählte Temperatur am besten quantifizierbar ist, und darüberhinaus am wenigsten durch Artefakte, wie z. B. die bei Verwendung von Luft auftretende Verdunstungskälte, gestört ist. Dementsprechend fanden COOPER et al. (18) bei Anwendung von Luft als Reizmedium, gegenüber der Anwendung von Wasser, eine signifikante Zunahme der Streuung der Meßergebnisse. Die zur kalorischen Prüfung verwendeten Spülmengen und die Spüldauer variieren dagegen erheblich. Die Spülmenge schwankt zwischen 5 bzw. 10 ccm bei VEITS et al. (70), 50 ccm bei MULCH et al. (53, 54, 55) und 400 - 600 ccm bei HALLPIKE (34)

und PFALTZ et al. (57, 59). Die Spüldauer liegt zwischen 7 sec bei VEITS et al. und 40 sec bei HALLPIKE und PFALTZ et al.. Jedoch scheint der Einfluß von Spülmenge und Spüldauer auf die Reaktionsintensität innerhalb eines weiten Bereichs gering zu sein, wie Untersuchungen von CHRISTIAN (15) hierzu ergaben. Ausschlaggebend für die Stärke des Reizes ist nach CHRISTIAN: "die Differenz der Temperaturwelle, die den lateralen Bogengang erreicht hat und dort wirksam wird, zur Körpertemperatur".

Als Temperatur werden heute fast überall die von HALLPIKE (34) vorgeschlagenen 30° für den Kaltreiz und 44° für den Warmreiz verwendet. Nach Möglichkeit sollte die kalorische Reaktion dabei immer sowohl für die Kaltspülung, als auch für die Warmspülung gemessen werden (41, 46, 51). Versuche, eine weniger aufwendige und zeitraubende kalorische Prüfung als "screening"-Methode einzuführen, indem entweder nur der Kaltreiz oder der Warmreiz alleine verwendet wurde, haben gezeigt, daß diese monothermalen Tests der bithermalen Methode hinsichtlich ihrer Aussagekraft unterlegen sind, wobei die Warmspülungen gegenüber den Kaltspülungen die besseren Ergebnisse erbrachten (8, 19, 36, 56).

Die Reihenfolge der Spülungen wurde in der vorliegenden Untersuchung entgegen des Vorschlags von HALLPIKE (34) so vorgenommen, daß zuerst der Warmreiz und anschließend der Kaltreiz in der Weise erfolgte, daß immer ein in der Schlagrichtung wechselnder Nystagmus erzeugt wurde. Auf diese Weise wird eine Habituation vermieden, die, wenn mehrmals hintereinander ein Nystagmus gleicher Schlagrichtung ausgelöst wird, eine verminderte Reaktion bedingen kann, wie INO et al. (39) im Tierversuch zeigen konnten.

Die Warmspülung zuerst vorzunehmen, ist auch deshalb sinnvoll, weil diese aussagekräftiger ist, und man manchmal gezwungen ist, die kalorische Prüfung wegen der vegetativen Begleitreaktionen beim Probanden vorzeitig abzubrechen.

Als Pause zwischen den einzelnen Spülungen wurden 1972 in der "Synopsis of the Vestibular System" (37) mindestens fünf Minuten empfohlen, was etwas kurz erscheint, nachdem in einer Untersuchung von CAWTHORNE et al. (13) noch zehn Minuten nach einer Spülung im lateralen Bogengang Temperaturdifferenzen zum Ausgangswert gemessen wurden, die allerdings mit ca. $0,1^{\circ}$ gering waren. Andererseits fand JONGKEES (41) bei Pausen von mehr als sechs Minuten keine Unterschiede in den Ergebnissen, wenn die Spültemperatur nicht mehr als 10° verschieden von der Körpertemperatur war. Bei längeren Pausen besteht darüberhinaus die Gefahr, daß die Ergebnisse aufgrund der dann sehr langen Untersuchungsdauer durch sinkendes Vigilanzniveau des Probanden beeinträchtigt werden. Für klinische Untersuchungen erscheint demnach eine Pause von fünf Minuten ausreichend, während für wissenschaftliche Untersuchungen eine Pause von acht bis zehn Minuten eingehalten werden sollte. Für die Körperhaltung des Probanden während der Untersuchung kommen im wesentlichen zwei Methoden in Betracht: die nach VEITS (70) im Sitzen, wobei die Spülung bei um 30° nach vorne geneigtem Kopf (lateral Bogengang in horizontaler Stellung) und die anschließende Registrierung bei um 60° nach hinten überstrecktem Kopf (lateral Bogengang in vertikaler Stellung) vorgenommen wird; bei der Methode nach HALLPIKE (34) erfolgt sowohl die Spülung, als auch die anschließende Registrierung des Nystagmus im Liegen mit um 30° angehobenem Kopf, also bei vertikaler Stellung des lateralen Bogengangs, was etwa der

in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Methode entspricht. Sowohl Spülung als auch Registrierung in der gleichen Position des Probanden vorzunehmen, empfiehlt sich besonders bei elektronystagmographischer Registrierung des Nystagmus, weil hierbei eine Veränderung der Kopfposition durch Verschiebung der Elektroden Störungen verursachen würde (14).

Die Registrierung des kalorischen Nystagmus mittels Elektronystagmographie hat den Vorteil, daß neben der Frequenz, Gesamtschlagzahl und Reaktionsdauer auch Winkelgeschwindigkeit und Amplitude des Nystagmus bestimmt werden können. Um während der kalorischen Reaktion eine Fixation, und damit eine Unterdrückung des Nystagmus, auszuschließen, kann die Registrierung bei geschlossenen Augen, bei geöffneten Augen in Dunkelheit oder mit der FRENZEL-Brille erfolgen. Über den "Effect of different conditions of ocular fixation" gibt eine Untersuchung von BALOH et al. (3) Auskunft. Dabei zeigt sich die deutlichste Reaktion mit der geringsten Streuung der Meßwerte bei der Registrierung mit offenen Augen in Dunkelheit, während bei geschlossenen Augen die Reaktion etwas geringer und die Streuung der Meßwerte etwas größer ist. Die geringste nystagmische Reaktion wurde bei der Registrierung mit der FRENZEL-Brille gefunden.

Verschiedene Autoren berichten über Erfahrungen von weitgehend unterdrücktem oder sogar aufgehobenem Nystagmus bei verändertem Vigilanzniveau (Aufmerksamkeits- bzw. Bewußtseinsgrad) des Probanden (6, 22, 26). Um während des gesamten Zeitraums der Nystagmusaufzeichnungen ein gleichmäßig hohes Vigilanzniveau des Probanden aufrechtzuerhalten, empfiehlt es sich deshalb, diesem während des Registriervor-

gangs Kopfrechenaufgaben zu stellen, wie z. B. fortlaufendes Subtrahieren oder Multiplizieren. In seltenen Fällen wird auch eine Hemmung des Nystagmus bei geschlossenen Augen beobachtet, die wahrscheinlich durch den Lidschluß bedingt ist (64, 67).

Entsprechend der Forderung vieler Autoren (20, 28, 48, 53, 66) soll man sich zur Auswertung der kalorischen Reaktion nicht nur auf einen Nystagmusparameter beschränken. GROHMANN (28) konnte zeigen, daß die "vestibulären Reaktionen vollständig nur mit zwei Nystagmusfunktionen, nämlich eine solche für die Amplitude der langsamen Phase ... und eine gleiche für die Frequenz, beschrieben werden können", und daß mit diesen beiden Funktionen zugleich die mathematische Verknüpfung aller bisher verwendeten Nystagmusparameter gelingt. Dementsprechend fanden MULCH et al. (53) eine hohe Korrelation ($r = \text{größer } 0,75$) bei den Meßwerten der kalorischen Prüfung zwischen maximaler Amplitude und maximaler Winkelgeschwindigkeit einerseits und maximaler Frequenz und Gesamtschlagzahl andererseits, während bei den Meßwerten zwischen maximaler Frequenz und maximaler Winkelgeschwindigkeit nur eine mittlere Korrelation gefunden wurde (zwischen $r = 0,46$ und $r = 0,60$). Mit diesen Erfahrungen stimmen auch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung überein. Die Errechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen den entsprechenden Datenpaaren der maximalen Frequenz und der maximalen SPV ergab auch hier nur mittlere Werte (zwischen $r = 0,39$ und $r = 0,53$).

Unabhängig davon stellten BALOH et al. (4) in einer Untersuchung an verschiedenen definierten Krankheitsbildern fest, daß in den meisten Fällen bei Vorliegen eines pathologischen

Meßwertes anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit sich auch anhand der maximalen Frequenz ein pathologischer Wert ergab. Inwieweit es also doch möglich ist, sich auf die Auswertung nur eines Nystagmusparameters zu beschränken, sollte noch an einer größeren Anzahl definierter Krankheitsbilder geprüft werden.

5.2. Diskussion der eigenen Ergebnisse

5.2.1. Die "normale" kalorische Labyrinthreaktion

Zweck der vorliegenden Untersuchung war es, Annäherungsbereiche einer "normalen" kalorischen Labyrinthreaktion zu ermitteln, und zwar sowohl für die absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität, als auch für die Seitendifferenz der Erregbarkeit und das Richtungsüberwiegen des Nystagmus. Diese "Normalbereiche" wurden für die beiden Nystagmusparameter der maximalen Frequenz/30 sec und der maximalen SPV/30 sec ermittelt.

Die "Normalbereiche" für die absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität wurden so gewählt, daß jeweils 90 % oder mehr in der vorliegenden Untersuchung an Vestibularisgesunden gemessenen Werte in dem jeweiligen Bereich liegen. Entsprechend wurden "Grenzwerte" für die Seitendifferenz der Erregbarkeit und das Richtungsüberwiegen des Nystagmus so festgelegt, daß die entsprechenden Ergebnisse von 90 oder mehr der 100 untersuchten Probanden unterhalb dieses "Grenzwertes" liegen.

Die "Normalbereiche" für die absoluten Zahlenwerte der Reak-

tionsintensität wurden in Form von schraffierten Bereichen der Befundskala in das "Frequenz-Calorigramm" bzw. in das "SPV-Calorigramm" übertragen.

Die "Normalbereiche" im "Frequenz-Calorigramm" zeigt die Abb. 6. Die Prozentzahlen geben an, wieviele Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in dem jeweiligen schraffierten Bereich lagen.

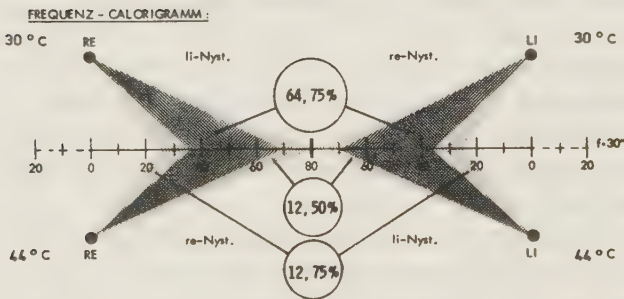


Abb. 6 "Normalbereiche" der kalorischen Labyrinthreaktion im "Frequenz-Calorigramm". Die Prozentwerte geben an, wieviele der bei 100 Gesunden gemessenen Ergebnisse in dem jeweiligen Bereich lagen.

Der dunkel schraffierte Bereich im "Frequenz-Calorigramm" umfaßt auf der Skala eine Schlagzahl von 35 bis 70 Schlägen/30 sec. In diesem Bereich lagen 64,75 % der Ergebnisse aus vorliegender Untersuchung.

Auf beiden Seiten des dunkel schraffierten Bereichs befinden sich heller schraffierte Bereiche, die eine Schlagzahl von 25 bis 35 Schlägen/30 sec bzw. 70 bis 80 Schlägen/30 sec umfassen.

Zwischen 25 und 35 Schlägen/30 sec lagen 12,75 % aller Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, während zwischen 70 und 80 Schlägen/30 sec 12,5 % aller Ergebnisse lagen.

Innerhalb des gesamten schraffierten Bereichs zwischen 25 und 80 Schlägen/30 sec lagen 90 % der an 100 Vestibularis-gesunden ermittelten Resultate für den Parameter der maximalen Frequenz/30 sec.

Die "Normalbereiche" im "SPV-Calorigramm" zeigt die Abb. 7. Die Prozentzahlen geben an, wieviele Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in dem jeweiligen schraffierten Bereich lagen.

Der dunkel schraffierte Bereich im "SPV-Calorigramm" umfaßt eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $10^0/\text{sec}$ und $25^0/\text{sec}$. In diesem Bereich lagen 66,25 % der Ergebnisse aus vorliegender Untersuchung.

Neben dem dunkel schraffierten Bereich liegen heller schraffierte Bereiche, die auf der einen Seite eine Winkelgeschwindigkeit von $5^0/\text{sec}$ bis $10^0/\text{sec}$ umfassen, auf der anderen Seite eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $25^0/\text{sec}$ und $40^0/\text{sec}$.

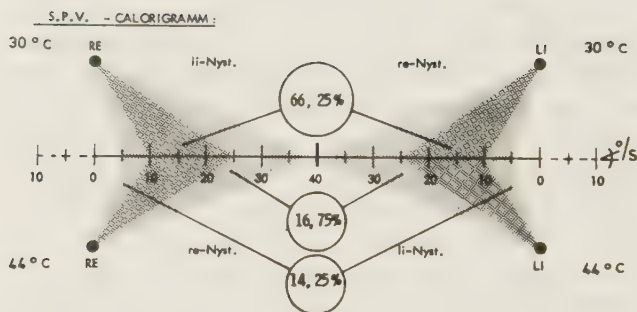


Abb. 7 "Normalbereiche" der kalorischen Labyrinthreaktion im "SPV-Calorigramm". Die Prozentzahlen geben an, wieviele der bei 100 Gesunden gemessenen Ergebnisse in dem jeweiligen Bereich lagen.

Im Bereich zwischen $5^0/\text{sec}$ und $10^0/\text{sec}$ lagen 14,25 % aller Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, während zwischen $25^0/\text{sec}$ und $40^0/\text{sec}$ 16,75 % der Ergebnisse lagen. Innerhalb des gesamten schraffierten Bereichs von $5^0/\text{sec}$ bis $40^0/\text{sec}$ befanden sich 97,25 % der an 100 Gesunden gemessenen Werte für den Parameter der maximalen SPV/30 sec.

Für die Seitendifferenz der Erregbarkeit wurden nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung folgende Grenzwerte

einer "normalen" kalorischen Reaktion festgelegt:

- 15 % anhand der maximalen Frequenz/30 sec
Unterhalb dieses Grenzwertes lagen die Ergebnisse von 98 der 100 Probanden.
- 25 % anhand der maximalen SPV/30 sec
Unterhalb dieses Grenzwertes lagen die Ergebnisse von 94 der 100 Probanden.

Für das Richtungsüberwiegen des Nystagmus wurden nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung folgende Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion festgelegt:

- 20 % anhand der maximalen Frequenz/30 sec
Unterhalb dieses Grenzwertes lagen die Ergebnisse von 96 der 100 Probanden.
- 35 % anhand der maximalen SPV/30 sec
Unterhalb dieses Grenzwertes lagen die Ergebnisse von 95 der 100 Probanden.

Mit der Festlegung dieser "Normwerte" der kalorischen Reaktion wurde beabsichtigt, den auswertenden Arzt mit Befunden der kalorischen Prüfung an Gesunden vertraut zu machen und damit eine Hilfe zur Bewertung der jeweiligen Nystagmusreaktion zu geben. Diese "Normwerte" der kalorischen Reaktion dürfen aber nicht dahingehend verstanden werden, daß diese eine starre Grenze zwischen physiologischen und pathologischen Werten darstellen.

In der vorliegenden Untersuchung hat sich gezeigt, daß die Ergebnisse der kalorischen Prüfung an Gesunden eine erhebliche

interindividuelle Streuung zeigen, wobei auch intraindividuelle Schwankungen bei den Ergebnissen zum Teil erheblich sein können, wie Verlaufsbeobachtungen an Gesunden von SEIBT (62) ergaben.

Im übrigen ist die Grenze zwischen "gesund" und "krank" nicht nur vom Gesunden abhängig (47, 49, 68). So wurden in der vorliegenden Untersuchung, trotz strenger Auswahlkriterien für das Untersuchungskollektiv, bei einzelnen Probanden Reaktionen beobachtet, wie z. B. eine maximale Frequenz von 110 Schlägen/30 sec oder eine Seitendifferenz von 48 % (maximale SPV), die nachträglich Zweifel aufkommen lassen, ob bei ihnen nicht doch vielleicht früher eine Schädigung des vestibulären Systems stattgefunden hat; von ähnlichen Beobachtungen berichten auch andere Untersucher (40, 54, 57). Auf der anderen Seite gibt es nicht selten Fälle, bei denen eine im "Normbereich" liegende kalorische Reaktion vorliegt, aber klinisch oder operativ ein pathologisches Geschehen nachgewiesen werden konnte (23, 29, 30). Es ist also nicht möglich, wie RANACHER (60) schreibt, "ohne weiteres aus Eingangs(Reiz) - Ausgangs(Reaktion)relation den Zustand des Vestibularsystems zu beurteilen".

Neben diesen Gesichtspunkten sind für die Verwendung der obengenannten "Normwerte" der kalorischen Reaktion noch weitere Einschränkungen zu machen.

Verschiedene Untersuchungen über den Einfluß des Alters auf die Nystagmusreaktion zeigen zum Teil sehr widersprüchliche Ergebnisse (2, 12, 27, 55). Für das Erwachsenenalter lassen sich dabei keine eindeutigen Abhängigkeiten der kalorischen Reaktion vom jeweiligen Alter des Untersuchten ableiten, jedoch scheint bei Kindern eine andere Reaktionslage vorzu-

liegen, wie z. B. eine gegenüber Erwachsenen geringere Schlagzahl, aber größere Amplitude (31). Die aufgestellten "Normwerte" der kalorischen Reaktion sollten aus diesem Grund nur bei Erwachsenen berücksichtigt werden.

Wie gezeigt wurde, hat auch die Methode der Vestibularisprüfung nicht unerheblichen Einfluß auf die Ergebnisse. Deshalb sind auch die auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse der kalorischen Prüfung festgelegten "Normwerte" an die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Methodik der Vestibularisprüfung gebunden.

Trotz all dieser Einschränkungen erscheint es sinnvoll, solche "Normwerte" der kalorischen Reaktion an Gesunden zu ermitteln, weil für den klinischen Einsatz der kalorischen Vestibularisprüfung sowohl die Kenntnis der Reaktion bei Gesunden mit den dazugehörigen Streubereichen notwendig ist, wie auch deren Veränderung unter pathologischen Bedingungen (49).

FRENZEL (24) schrieb: "... gleichgültig, welche der zahlreichen Untersuchungsanordnungen der einzelne Untersucher anwendet. Er wird immer gute Ergebnisse erzielen können, sofern er nur über ausreichende Erfahrungen mit der von ihm verwendeten Methodik am Normalen verfügt."

5.2.2. Die "pathologische" kalorische Labyrinthreaktion

Die Indikation zur kalorischen Vestibularisprüfung ist meist eine Beschwerdesymptomatik seitens des Gleichgewichtsorgans, und dabei oft im Zusammenhang mit otologischen und neurologischen Erkrankungen, zur Feststellung einer peripheren oder zentralen vestibulären Störung.

Subjektive Leitsymptome der Vestibulariserkrankung sind Schwindel und die Empfindung der Gleichgewichtsstörung. Die Schwindelempfindung reicht dabei von regelrechtem Drehschwindel bis zu einem Unsicherheits- oder Taumeligkeitsgefühl, die Empfindung der Gleichgewichtsstörung zeigt sich in einem Mangel an Koordination in Körperhaltung und -bewegung (65, 71). Neben einer sorgfältigen Anamnese, der Erhebung des klinischen Befunds und weiterer Prüfungen des Gleichgewichtsorgans, liefert die kalorische Prüfung wichtige Informationen über die Reaktionslage des Vestibularapparats und kann Hinweise geben, ob eine Störung zentralen oder peripheren Ursprungs ist (41, 46).

Die absoluten Zahlenwerte der kalorischen Nystagmusreaktion geben vor allem darüber Auskunft, ob eine Unter- oder Übererregbarkeit des Vestibularorgans vorliegt und geben die Berechnungsgrundlage ab für weitere Beurteilungskriterien des kalorischen Nystagmus, wie die Seitendifferenz der Erregbarkeit und das Richtungsüberwiegen des Nystagmus.

Eine beidseitige Übererregbarkeit ist in den meisten Fällen durch zentrale Läsionen verursacht, wie z. B. multiple Sklerose oder manche Hirntumoren, kann aber auch durch eine entsprechende vegetative Reaktionslage des Untersuchten mitbedingt sein (41, 46, 33). Entsprechend der Annäherungsbereiche einer "normalen" kalorischen Reaktion (siehe 5.2.1.) liegt eine Übererregbarkeit des Vestibularorgans dann vor, wenn die maximale Frequenz mehr als 80 Schläge/30 sec beträgt, bzw. die maximale SPV/30 sec über 40^0 /sec liegt. Die Darstel-

lung einer Übererregbarkeit im "Frequenz-Calorigramm"
zeigt als Beispiel die Abb. 8.

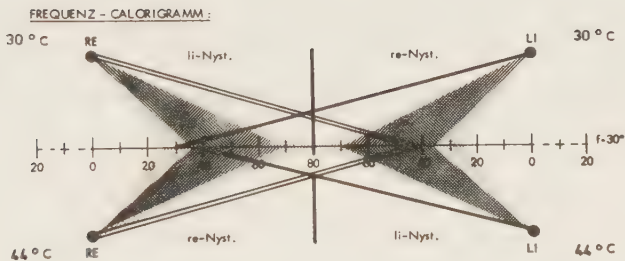


Abb. 8 Beispiel einer beidseitigen kalorischen Übererregbarkeit. Sämtliche maximale Schlagfrequenzen liegen deutlich jenseits des Grenzwertes von 80 Schlägen.

Eine Untererregbarkeit des Vestibularorgans, einseitig oder beiderseitig, ist in den meisten Fällen peripher bedingt, d. h. durch Schädigung des Nervus vestibularis oder des Vestibularorgans selbst, wie z. B. nach einer Felsenbeinfraktur oder bei Akustikusneurinomen. Daneben kann eine Untererregbarkeit des Vestibularorgans, besonders wenn sie beidseitig besteht, Ausdruck einer zentralen Störung sein oder durch extra-

vestibuläre Faktoren, wie z. B. Ermüdung und Habituation, mitbedingt sein (6, 22, 30, 39, 41, 46). Der besondere Wert der kalorischen Prüfung liegt dabei in der Aufdeckung von Erregbarkeitsdifferenzen zwischen rechts und links, d. h. in der Feststellung einer einseitigen Untererregbarkeit. Bei einer einseitigen Untererregbarkeit kann man unterscheiden zwischen einer "absoluten" Untererregbarkeit, wenn die Reaktionsintensität auf einer Seite für sich betrachtet zu gering ist, und einer "relativen" Untererregbarkeit, die dann vorliegt, wenn die Reaktionsintensität auf einer Seite im Vergleich zur Gegenseite als zu gering erscheint.

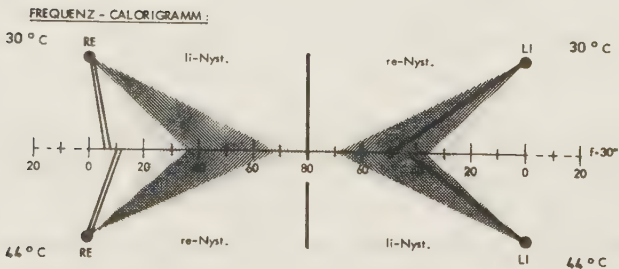


Abb. 9 Beispiel einer "absoluten" einseitigen Untererregbarkeit rechts. Die maximalen Schlagfrequenzen rechts liegen deutlich außerhalb des schraffierten Bereichs einer "normalen" kalorischen Reaktion

Entsprechend der Annäherungsbereiche einer "normalen" kalorischen Labyrinthreaktion (siehe 5.2.1.) liegt eine "absolute" einseitige Untererregbarkeit dann vor, wenn die maximale Frequenz weniger als 25 Schläge/30 sec beträgt, bzw. die maximale SPV unter $5^{\circ}/\text{sec}$ liegt.

Die Darstellung einer "absoluten" einseitigen Untererregbarkeit im "Frequenz-Calorigramm" zeigt als Beispiel die Abb. 9.

Nach den Grenzwerten einer "normalen" kalorischen Reaktion (siehe 5.2.1.) liegt eine "relative" einseitige Untererregbarkeit

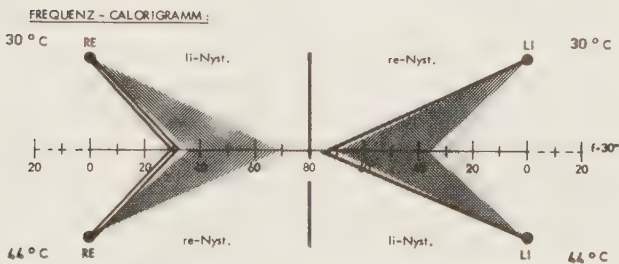


Abb. 10 Beispiel einer "relativen" einseitigen Untererregbarkeit rechts. Sämtliche maximalen Schlagfrequenzen liegen im schraffierten Bereich einer "normalen" kalorischen Reaktion. Die errechnete Seitendifferenz liegt mit ca. 40 % jedoch deutlich über dem Grenzwert der "normalen" Seitendifferenz der Erregbarkeit

keit dann vor, wenn die Seitendifferenz der Erregbarkeit anhand der maximalen Frequenz/30 sec oberhalb 15 % liegt, bzw. anhand der maximalen SPV/30 sec größer als 25 % ist. Die einzelnen Meßwerte der Reaktionsintensität liegen dabei alle im Bereich einer "normalen" kalorischen Reaktion. Die Darstellung einer "relativen" einseitigen Untererregbarkeit im "Frequenz-Calorigramm" zeigt als Beispiel die Abb. 10.

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der kalorischen Reaktion stellt das Richtungsüberwiegen des Nystagmus (Kalt-Warm-Dissoziation, *directional preponderance*) dar, das dadurch gekennzeichnet ist, daß, unabhängig von der Seite und der Temperatur des Reizes, die Intensität des Nystagmus in einer Schlagrichtung gegenüber der anderen stärker ist. Dabei unterscheidet man zwei Formen des Richtungsüberwiegens: eine, bei der sich nie ein Spontannystagmus findet, und eine andere, wo sich gleichzeitig ein Spontannystagmus zur Seite des Richtungsüberwiegens zeigt. Das Richtungsüberwiegen kann Ausdruck verschiedener zentraler Störungen sein, wie z. B. bei manchen Hirntumoren, aber auch durch periphere Störungen bedingt sein. Der diagnostische Wert des Richtungsüberwiegens, insbesondere wenn es ohne Spontannystagmus vorliegt, ist demnach eher als gering einzuschätzen (21, 41, 46, 57).

Nach den Grenzwerten einer "normalen" kalorischen Reaktion (siehe 5.2.1.) liegt ein fraglich pathologisches Richtungsüberwiegen des Nystagmus, Spontannystagmus ausgeschlossen, dann vor, wenn es anhand der maximalen Frequenz/30 sec mehr als 20 %, bzw. anhand der maximalen SPV/30 sec mehr als 35 % beträgt. Die Darstellung eines Richtungsüberwiegens im "Frequenz-Calorigramm" zeigt als Beispiel die Abb. 11.

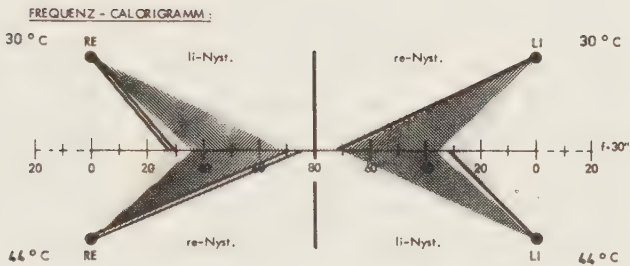


Abb. 11 Beispiel eines Richtungsüberwiegens des Nystagmus. Sämtliche maximalen Schlagfrequenzen liegen im schraffierten Bereich einer "normalen" kalorischen Reaktion. Die maximalen Schlagfrequenzen nach der Warmspülung rechts und der Kaltspülung links liegen deutlich höher als nach den anderen Spülungen. Der errechnete Wert für das Richtungsüberwiegen liegt bei 40 % und damit deutlich über dem Grenzwert einer "normalen" kalorischen Reaktion.

5.3. Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren

Von vielen Autoren sind in den letzten Jahren Erfahrungen über die kalorische Vestibularisprüfung an Normalkollektiven mitgeteilt worden, die sich aber leider auf zum Teil sehr unterschiedliche Methoden der kalorischen Prüfung gründen. Nachdem aber die verschiedenen Methoden nicht unwesentlich die Ergebnisse der kalorischen Prüfung beeinflussen (siehe 5.1.), ist ein Vergleich von Ergebnissen verschiedener Untersucher nur bedingt möglich, d. h. nur unter Berücksichtigung der den Ergebnissen jeweils zugrundeliegenden Methodik.

Die von verschiedenen Autoren mitgeteilten absoluten Zahlenwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion sind in der Tab. 5 zusammengestellt. Es sind dort für die Parameter der maximalen Frequenz und maximalen SPV jeweils die bei Gesunden vorgefundenen Mittelwerte ($\bar{m}$) der Reaktionsintensität und als Maß für die Streuung der Ergebnisse die Variationskoeffizienten ($s/\bar{m}$) in Prozent angegeben.

Die für verschiedene Zeitintervalle angegebene maximale Frequenz wurde zum besseren Vergleich jeweils in Schläge/sec umgerechnet.

Für die maximale Frequenz/30 sec ergab sich aus der vorliegenden Untersuchung ein Mittelwert ($\bar{m}$) von 55,3 Schlägen bei einer Standardabweichung (s) von 17,9 Schlägen. Umgerechnet ergibt sich daraus eine mittlere Frequenz von 1,84 Schlägen/sec bei einem Variationskoeffizienten von 32 %.

Autoren	max. Frequenz (Schläge / s)		max. SPV (° / s)	
	m	s/m	m	m/s
Pfaltz et al. 1962	2,34 ⁺	37%	--	--
Claussen 1969	1,33 ⁺	50%	--	--
Baloh et al. 1977	2,90	17%	22,6	39%
Sillis et al. 1977	3,32	20%	18,0	52%
Mulch et al. 1978	re 3,90 ^{+,++}	36%	39,6 ⁺⁺	57%
	li 4,00 ^{+,++}	35%	39,2 ⁺⁺	55%
eigene Ergebnisse	1,84 ⁺	32%	17,3	49%

Die mit ⁺ versehenen Werte sind aus für verschiedene Zeitintervalle angegebenen Frequenzen in Schläge/sec umgerechnet worden.

Die mit ⁺⁺ versehenen Werte stellen jeweils die Summe der Ergebnisse zweier Spülungen auf einer Seite dar.

Tab. 5 Von verschiedenen Autoren mitgeteilte absolute Zahlenwerte der Reaktionsintensität einer "normalen" kalorischen Reaktion. Angegeben sind jeweils der Mittelwert (m) und der Variationskoeffizient (s/m) in Prozent

Die von MULCH et al. (52) angegebenen Werte für die maximale Frequenz stellen jeweils die Summe der Ergebnisse zweier Spülungen auf einer Seite dar und betragen 3,90 Schläge/sec auf der rechten Seite, bzw. 4,00 Schläge/sec auf der linken Seite. Diese Werte stimmen, wie auch die entsprechenden Variationskoeffizienten von 36 % (re) bzw. 35 % (li), gut mit den eigenen Ergebnissen überein. Die von MULCH et al. zur Spülung

verwendeten 50 ccm innerhalb 30 sec stellen zwar einen etwas geringeren Reiz dar, jedoch wurde die Registrierung bei geöffneten Augen in Dunkelheit vorgenommen, wobei eine etwas stärkere Reaktion zu erwarten ist. Als Mittelwert der maximalen Frequenz geben PFALTZ et al. (59) 2,34 Schläge/sec an, der Variationskoeffizient beträgt 37 %. Dieser, gegenüber den Ergebnissen von MULCH et al. und den eigenen Ergebnissen, etwas höhere Wert könnte durch den stärkeren Reiz (400 - 600 ccm innerhalb 40 sec) bedingt sein. Außerdem ermittelten PFALTZ et al. die maximale Frequenz für den relativ kurzen Zeitraum von 5 sec, wobei hiermit auch nur kurze, möglicherweise sehr hohe, Frequenzmaxima erfaßt werden.

Die von CLAUSSEN (16, 17) als Normwert angegebenen 40 ± 20 Schläge/30 sec entsprechen einer Frequenz von 1,33 Schlägen/sec bei einem Variationskoeffizienten von 50 %. Der im Vergleich zu anderen Autoren sehr niedrige Mittelwert der Frequenz könnte durch den relativ schwachen Reiz, den CLAUSSEN zur kalorischen Prüfung verwendet (20 ccm innerhalb 30 sec), bedingt sein. Außerdem basiert dieser Wert auf der Registrierung unter der FRENZEL-Brille, wo eine geringere Reizantwort resultiert. Die mit 50 % ziemlich hohe Streuung der Ergebnisse könnte dadurch bedingt sein, daß nicht ein ausgesuchtes Kollektiv von Gesunden untersucht wurde, sondern eine große Anzahl von Poliklinikpatienten.

Sowohl BALOH et al. (3), als auch SILLS et al. (63), geben für die maximale Frequenz deutlich höhere Mittelwerte an als andere Autoren. Es fällt bei den Ergebnissen von BALOH et al. ($m = 2,9$ Schläge/sec; $s/m = 17$ %) und SILLS et al. ($m = 3,32$ Schläge/sec; $s/m = 20$ %) außerdem eine deutlich geringere Streuung der Ergebnisse auf. Da beide Autoren die Auswertung

der Nystagmusreaktion mit speziellen Computerprogrammen vornehmen, läßt sich möglicherweise dadurch der Unterschied zu den Ergebnissen der anderen Untersucher erklären.

Für die maximale SPV/30 sec ergab die vorliegende Untersuchung einen Mittelwert ($\bar{m}$) von $17,3^0/\text{sec}$ bei einer Standardabweichung (s) von $8,5^0$, was einem Variationskoeffizienten ($s/\bar{m}$) von 49 % entspricht.

Die von MULCH et al. (52) angegebenen Mittelwerte von $39,6^0/\text{sec}$ (re) bzw. $39,2^0/\text{sec}$ (li) stellen wiederum die Summe der Ergebnisse zweier Spülungen einer Seite dar. Sie liegen damit geringfügig über den eigenen Ergebnissen. Auch die Variationskoeffizienten liegen bei MULCH et al. mit 57 % (re) bzw. 55 % (li) etwas über dem der eigenen Ergebnisse. Verantwortlich hierfür könnten wiederum die von MULCH et al. bei geöffneten Augen des Probanden vorgenommene Registrierung des Nystagmus und die Unterschiede bei der Durchführung der Spülungen sein. Die von SILLS et al. (63) als Mittelwert angegebenen $18,0^0/\text{sec}$, wie auch der Variationskoeffizient von 52 % entsprechen etwa den Werten von MULCH et al. und sind ebenfalls nur geringfügig höher als die eigenen Ergebnisse, während BALOH et al. (3) mit $22,6^0/\text{sec}$ den höchsten Mittelwert der maximalen SPV angeben, bei einem allerdings deutlich kleineren Variationskoeffizienten von 39 %. In erster Linie könnte für diese Unterschiede das nur sehr kleine Untersuchungskollektiv von nur zwölf Probanden verantwortlich sein, während die von SILLS et al. und BALOH et al. zur kalorischen Prüfung verwendeten Methoden identisch sind.

Obereinstimmend zeigt sich bei allen Autoren eine größere Streuung der Ergebnisse für die maximale SPV gegenüber denen der maximalen Frequenz.

Bei den angegebenen Mittelwerten der Reaktionsintensität sind besonders für den Parameter der maximalen Frequenz deutliche Unterschiede feststellbar, während sich bei den für die maximale SPV angegebenen Mittelwerten keine grossen Unterschiede bei den verschiedenen Autoren finden. Neben der unterschiedlichen Durchführung der kalorischen Prüfung könnte hierfür die Auswertung der maximalen Frequenz innerhalb verschieden langer Zeitintervalle eine besondere Rolle spielen. Bei der Auswertung der maximalen SPV wird dagegen immer nur ein relativ kurzes Maximum der Reaktionsintensität erfaßt, unabhängig vom jeweils ausgewerteten Zeitintervall.

Über die von verschiedenen Autoren mitgeteilten Werte einer "normalen" Seitendifferenz der Erregbarkeit und eines "normalen" Richtungsüberwiegens des Nystagmus gibt die Tab. 6 Auskunft.

Es sind dort die von den meisten Autoren als Grenzwerte einer "normalen" Reaktion angesehenen Werte der zweifachen Standardabweichung vom jeweiligen an Gesunden ermittelten Mittelwert ($m \pm 2s$) angegeben.

Alle Werte stellen Prozentwerte dar, wobei die entsprechenden Vorzeichen alle nach der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Modifikation (37) der von JONGKEES et al. (43) stammenden Formel umgerechnet wurden.

Für die Seitendifferenz der Erregbarkeit ergab die vorliegende Untersuchung anhand der maximalen Frequenz einen Mittelwert (m) von - 1,2 % bei einer Standardabweichung (s)

Autoren	Seitendifferenz max. Frequenz	in % max. SPV	Richtungsüberwiegen max. Frequenz	in % max. SPV
Jongkees et al. 1962	--	15	--	18
Bruner et al. 1971	--	+24 -28	--	+31 -38
Barber et al. 1971	--	25	--	30
Pfaltz 1976	20	32	24	40
Mulch et al. (a) 1977	24	38	24	+32 -40
(b)	+25 -27	44	+22 -28	+34 -49
Sillis et al. 1977	+16 - 9	+25 -22	13	+26 -31
eigene Ergebnisse	+10 -13	+20 -26	+20 -17	32

Die Vorzeichen (+, -) wurden entsprechend der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Modifikation der von JONGKEES et al. stammenden Formel zur besseren Vergleichbarkeit umgerechnet

Tab. 6 Von verschiedenen Autoren angegebene Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion (zweifache Standardabweichung vom Mittelwert) für die Seitendifferenz der Erregbarkeit und das Richtungsüberwiegen des Nystagmus, jeweils als Prozentwert der Gesamtreaktion

von 5,7 %, anhand der maximalen SPV einen Mittelwert (m) von - 3,4 % bei einer Standardabweichung (s) von 11,5 %. Als Grenzwerte ($m \pm 2s$) hieraus ergeben sich für die maximale Frequenz + 10 % bzw. - 13 %, für die maximale SPV entsprechend + 20 % bzw. - 26 %.

Die von SILLS et al. (63) für die Seitendifferenz angegebenen Grenzwerte anhand der maximalen Frequenz mit + 16 % bzw. - 9 %, sowie anhand der maximalen SPV mit + 25 % bzw. - 22 %, stimmen mit den eigenen Ergebnissen gut überein. Auch die von BRUNER et al. (12) nur für die maximale SPV angegebenen + 24 % bzw. - 28 % als Grenzwerte der Seitendifferenz und die von BARBER et al. (7) ebenfalls nur für die maximale SPV angegebenen 25 % zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von SILLS et al. und den eigenen Ergebnissen.

Höhere Grenzwerte der Seitendifferenz gibt PFALTZ (58) mit 20 % für die maximale Frequenz und 32 % für die maximale SPV an. Noch höher liegen die von MULCH et al. (52) an zwei Kollektiven (a und b) ermittelten Grenzwerte der Seitendifferenz. Im Kollektiv a liegen sie bei 24 % für die maximale Frequenz bzw. 38 % für die maximale SPV, während für das Kollektiv b + 25 % bzw. - 27 % für die maximale Frequenz und 44 % für die maximale SPV angegeben werden. Diese höheren Grenzwerte dürften insbesondere durch die Zusammensetzung der Untersuchungskollektive bedingt sein, so war z. B. im Kollektiv b von MULCH et al. eine eventuell bestehende Schalleitungsschwerhörigkeit kein Ausschlußgrund. Den niedrigsten Grenzwert der Seitendifferenz geben JONGKEES et al. (43) für die maximale SPV mit 15 % an. Auch dieser sehr niedrige Wert könnte durch die Zusammensetzung des Untersuchungskollektivs bedingt sein. Diese Werte von JONGKEES et al. entstammen einer Untersuchung von HAMERSMA (35), an der nur jüngere Schwestern, Ärzte und Studenten teilnahmen.

Für das Richtungsüberwiegen des Nystagmus wurde in der vorliegenden Untersuchung anhand der maximalen Frequenz ein Mittelwert (m) von + 1,5 % ermittelt, bei einer Standardabweichung (s) von 9,1 %. Für die maximale SPV errechnete sich ein Mittelwert von - 0,2 % und eine Standardabweichung von 15,8 %. Hieraus ergeben sich als Grenzwerte des Richtungsüberwiegens ($m \pm 2s$) für die maximale Frequenz + 20 % bzw. - 17 % und für die maximale SPV ein Grenzwert von 32 %.

Die von SILLS et al. (63) als Grenzwerte des Richtungsüberwiegens angegebenen 13 % für die maximale Frequenz und + 26 % bzw. - 31 % für die maximale SPV stimmen wieder gut mit den eigenen Ergebnissen überein. Im gleichen Bereich liegen auch die Grenzwerte von BRUNER et al. (12) mit + 31 % bzw. - 38 % für die maximale SPV und die ebenfalls nur für die maximale SPV angegebenen 30 % von BARBER et al. (7). Wie bei der Seitendifferenz der Erregbarkeit gibt PFALTZ (58) auch für das Richtungsüberwiegen mit 24 % für die maximale Frequenz und 40 % für die maximale SPV etwas höhere Grenzwerte an. Die von MULCH et al. (52) für die beiden Kollektive a und b angegebenen Werte stellen wiederum die höchsten Grenzwerte dar. Im Kollektiv a liegen diese bei 24 % für die maximale Frequenz und + 32 % bzw. - 40 % für die maximale SPV, während für das Kollektiv b + 22 % bzw. - 28 % für die maximale Frequenz und + 34 % bzw. - 49 % für die maximale SPV ermittelt wurden.

Gründe hierfür dürften ebenfalls, wie bei den Werten für die Seitendifferenz, besonders in der Zusammensetzung der untersuchten Kollektive zu suchen sein. Wie schon bei der

Seitendifferenz geben JONGKEES et al. (43) auch für das Richtungsüberwiegen mit 18 % den niedrigsten aller Grenzwerte anhand der maximalen SPV an. Auch dieser Grenzwert entstammt der Untersuchung von HAMERSMA (35), wo ein in der Zusammensetzung sehr homogenes Kollektiv untersucht wurde.

Übereinstimmend finden sich bei allen Autoren höhere Grenzwerte für das Richtungsüberwiegen des Nystagmus gegenüber der Seitendifferenz der Erregbarkeit, d. h. ein Richtungsüberwiegen wird offensichtlich in größerem Ausmaß bei Gesunden vorgefunden als eine Seitendifferenz der Erregbarkeit.

Bei allen Autoren sind außerdem die für die maximale SPV angegebenen Werte größer als diejenigen für die maximale Frequenz, was auf der größeren Streuung der Meßwerte bei der maximalen SPV beruhen dürfte.

Bei mehreren Autoren zeigt sich in den untersuchten Kollektiven ein Überwiegen der Seitendifferenz zugunsten einer Seite bzw. des Richtungsüberwiegens nach einer Seite. Dabei findet sich häufiger eine größere Reaktionsintensität nach den Linksspülungen bzw. eine größere Reaktionsintensität des nach rechts gerichteten Nystagmus. Möglicherweise ist hierfür die Dominanz einer Großhirnhemisphäre und deren Einfluß auf die Nystagmusreaktion verantwortlich (57). Durch den jeweiligen Bezug der angegebenen Prozentwerte zur Gesamtreaktion dürften die Unterschiede bei den von den Autoren ermittelten Grenzwerten weniger durch die Methodik der kalorischen Prüfung bedingt sein, als vielmehr auf der unterschiedlichen Zusammensetzung der Untersuchungskollektive beruhen.

5.4. Wert der kalorischen Prüfung

Nach MINNIGERODE (48) ist die moderne Entwicklung des Vestibularisprüfung im Hinblick auf die kalorische Prüfung gekennzeichnet:

- "1. Durch das Bestreben nach Ausarbeitung einer einheitlichen internationalen Methodik,
2. durch immer neue Versuche zum Ausbau einer exakten quantitativen Erregbarkeitsmethodik."

Zum Bestreben nach einer standardisierten Methodik läßt sich sagen, daß es sicherlich wünschenswert wäre, über eine einheitliche Methode der kalorischen Prüfung verfügen zu können, weil es sich gezeigt hat, daß ohne eine solche einheitliche Methodik ein Austausch von Erfahrungen sowohl über die kalorischen Reaktionen bei Gesunden, wie auch über pathologische Reaktionen, nur beschränkt möglich ist.

Zum Ausbau einer exakten quantitativen Erregbarkeitsmethodik ist zu bemerken, daß angesichts der erheblichen intra- sowie interindividuellen Schwankungen bei den Ergebnissen der kalorischen Prüfung verfeinerte quantitative Untersuchungsmethoden die Gefahr in sich bergen, " scheinbar pathologische Befunde hinein zu interpretieren, statt wirklich pathologische Befunde heraus zu untersuchen." (50). In einem etwas anderen Zusammenhang meint JONGKEES (41), daß scheinbar genauere Messungen leicht die Illusion wecken würden, diese könnten Bedeutung haben.

Über die Stellung der kalorischen Prüfung innerhalb der übrigen Gleichgewichtsuntersuchungen ist zu sagen, daß die kalorische Prüfung hierbei nur einen Teil ausmacht, wobei die

meisten Autoren der Meinung sind, daß das systematische Fahnden nach Spontan- und Provokationsnystagmus den wichtigsten Teil der Vestibularisprüfungen darstellt (25, 29, 48, 49, 50), und der kalorischen Prüfung im wesentlichen die Rolle einer Ergänzungsprüfung zukommt. Der besondere Wert der kalorischen Prüfung liegt dabei in der Möglichkeit einer seitengetrennten Beurteilung der Reaktionslage. Ein Urteil, das nur auf der kalorischen Prüfung beruht, muß laut JONGKEES (41) daher als zu wenig begründet erachtet werden.

Für alle Vestibularisprüfungen gleichermaßen gilt, daß die jeweiligen Ergebnisse immer nur im Zusammenhang mit einer sorgfältigen Anamnese, einem eingehenden klinischen Befund und anderen diagnostischen Kriterien zu verwerten sind.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Zum Zwecke der Feststellung von "Normwerten" der kalorischen Labyrinthreaktion wurde an 100 gesunden Probanden die kalorische Prüfung durchgeführt.

Die Auswertung wurde anhand der beiden Nystagmusparameter der maximalen Frequenz und der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase (SPV) vorgenommen, und zwar jeweils innerhalb der Kulminationszeit von 30 Sekunden.

Als "Normwerte" der kalorischen Reaktion wurden ermittelt:

- für die Reaktionsintensität Bereiche zwischen 25 und 80 Schlägen/30 sec (maximale Frequenz) bzw. zwischen 5° /sec und 40° /sec (maximale SPV)
- für die Seitendifferenz der Erregbarkeit Grenzwerte von 15 % (maximale Frequenz) bzw. 25 % (maximale SPV)
- für das Richtungsüberwiegen des Nystagmus Grenzwerte von 20 % (maximale Frequenz) bzw. 35 % (maximale SPV).

Diese "Normwerte" wurden so festgelegt, daß jeweils 90 % oder mehr der Ergebnisse aus der vorliegenden Untersuchung innerhalb dieser Bereiche bzw. unterhalb dieser Grenzwerte lagen.

Mit der Festlegung dieser "Normwerte" war beabsichtigt, den auswertenden Arzt mit Befunden der kalorischen Prüfung an Gesunden vertraut zu machen und damit eine Hilfe zur besseren und schnelleren Interpretation von pathologischen Veränderungen zu geben.

Diese "Normwerte" der kalorischen Reaktion dürfen allerdings nicht als starre Grenze zwischen gesund und krank angesehen werden, weil diese einerseits nicht nur vom Gesunden abhängig ist und andererseits die Ergebnisse der kalorischen Prüfung auch bei Gesunden eine erhebliche inter- sowie intraindividuelle Streuung zeigen.

Die Verwendbarkeit dieser "Normwerte" ist darüberhinaus eingeschränkt durch die Abhängigkeit der kalorischen Reaktion von der jeweils verwendeten Methodik der kalorischen Prüfung und dem Alter der Probanden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Arslan, M.: Über die Methodik der Vestibularisuntersuchungen mit einem Vorschlag zur Standardisierung. Fortschr. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 1 (1957) 148
- 2) Arslan, M.: The senescence of the vestibular apparatus. Pract. Otorhinolaryngol. 19 (1957) 475
- 3) Baloh, R. W., A. W. Sills, L. Solingen, V. Honrubia: Caloric Testing, 1. Effect of different conditions of ocular fixation. Ann. Otol. 86 (1977) 1
- 4) Baloh, R. W., A. W. Sills, V. Honrubia: Caloric Testing, 3. Patients with peripheral and central vestibular lesions. Ann. Otol. 86 (1977) 24
- 5) Barany, R.: Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektierend ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Mschr. Ohrenheilk. 40 (1906) 193
- 6) Barber, H. O., G. Wright: Release of nystagmus suppression in clinical electronystagmography. Laryngoscope 77 (1967) 1016
- 7) Barber, H. O., G. Wright, F. Demanuelle: The hot caloric test as a clinical screening device. Arch. Otolaryng. 94 (1971) 335

- 8) Becker, G. D.: The screening value of monothermal caloric tests. *Laryngoscope* 89 (1979)
- 9) Biomathematik für Mediziner, Hrsg. Kollegium Biomathematik NW, 2. Aufl. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg (1976)
- 10) Breuer, J.: Neue Versuche an den Ohrbogengängen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 44 (1889) 135
- 11) Brown-Sequard, C.: Course of lectures on the physiology and pathology of the central nerve system. Collins, Philadelphia (1860)
- 12) Bruner, A., T. W. Norris: Age related changes in caloric nystagmus. *Acta Oto-Laryng.* 282 (1971)
- 13) Cawthorne, T., W. A. Cobb: Temperature changes in the perilymph space in response to caloric stimulation in man. *Acta Oto-Laryng.* 44 (1954) 580
- 14) Christian, W.: Erfahrungen mit der Nystagmographie des kalorisch ausgelösten Nystagmus. *Z. Laryng. Rhinol. Otol.* 33 (1954) 29
- 15) Christian, W.: Der Einfluß der Reizstärke auf Schlagzahl und Amplitude beim kalorisch ausgelösten Nystagmus. *Z. Laryng. Rhinol. Otol.* 33 (1954) 708
- 16) Claussen, C. F.: Die quantitative Vestibularisprüfung - eine audiogrammanaloge Auswertung von Nystagmusbefunden (Schmetterlingsschema). *Z. Laryng. Rhinol.* 48 (1969) 938

- 17) Claussen, C. F.: Audiogrammanaloge Auswertungsschemata in der Vestibulometrie (Tagungsbericht). HNO 19 (1971) 314
- 18) Cooper, J. C., R. L. Mason: Variability of air calorics as water. Arch. Otolaryngol. 105 (1979) 113
- 19) Dayal, V. S., J. Farkashidy, B. Kuzin: Clinical evaluation of the hot caloric test as a screening procedure. Laryngoscope 83 (1973) 1433
- 20) Decher, H.: Diskussionsbemerkung zu Claussen: Audiogrammanaloge Auswertungsschemata in der Vestibulometrie. HNO 19 (1971) 314
- 21) Decher, H., E. Sperling: Das Richtungsüberwiegen des experimentellen Nystagmus als peripher oder zentral ausgelöstes Symptom. HNO 7 (1959) 362
- 22) Eckel, W., W. Kuipers, D. Wendt: Elektronystagmographische Untersuchungen zur tageszeitlichen und durch verschiedene Bewußtseinsgrade bedingten Variabilität des experimentellen Nystagmus. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 181 (1963) 175
- 23) Emami-Nouri, M.: Die diagnostische Wertigkeit einiger Nystagmusparameter. HNO 22 (1974) 275
- 24) Frenzel, H.: Calorische Prüfung mittels Wasserfüllung des Gehörgangs und mittels Luftgebläse. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 50 (1944) 485

- 25) Frenzel, H.: Zur Frage einer Routinetechnik der thermischen Vestibularerregung. HNO 7 (1959) 353
- 26) Gillingham, K. K.: Mental arithmetic during electronystagmographic testing. Ann. Otol. Rhinol. 78 (1969) 575
- 27) Gramowski, K. H., E. Unger: Über die Altersabhängigkeit thermischer Labyrinthreaktionen. Z. Laryng. Rhinol. Otol. 52 (1973) 541
- 28) Grohmann, R.: Zur Auswertung und Dokumentation von Elektrownystagmogrammen. Laryng. Rhinol. 54 (1976) 498
- 29) Haid, T.: Das Positiogramm, eine Aufzeichnungsmethode der Lageprüfung in der Neurotologie. Laryng. Rhinol. 56 (1977) 1037
- 30) Haid, T.: Der Wert der Lageprüfung und Meantografie bei Tumoren des inneren Gehörganges. In: Differential Diagnosis of Vertigo, Editor: C. F. Claussen, Walter de Gruyter & Co., Berlin - New York (1980)
- 31) Haid, T.: Persönliche Mitteilung (1980)
- 32) Haid, T., M. E. Wigand: Das Frequenz-Kalorigramm. Eine Analogdarstellung der kalorischen Nystagmusreaktion. Laryng. Rhinol. 55 (1976) 654
- 33) Haid, T., M. E. Wigand, W. Gottwald, A. Taghavy, D. Egg: Darstellung der Nystagmusreaktion bei Encephalomyelitis disseminata im Frequenz-Kalorigramm. Z. f. Hörgeräte-Akustik, Sonderheft (1976)

- 34) Hallpike, C. S.: The caloric test. J. Laryng. 70 (1956)
- 35) Hamersma, H.: The caloric test. Diss. Amsterdam (1957)
- 36) Hart, C. W. J.: The value of the hot caloric test. Laryngoscope 75 (1965) 302
- 37) Henriksson, N. G., C. R. Pfaltz, N. Torok, W. Rubin: A synopsis of the vestibular system. An effort to standardize vestibular conceptions, tests and their evaluation. Sandoz Monographs (1972)
- 38) Horbach, L., H. J. Jesdinsky: Empfehlung für die Darstellung statistischer Auswertungen in klinischen Veröffentlichungen, hrsg. aufgrund von Diskussionen in der Arbeitsgruppe "Statistische Methoden" der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Dokumentation und Statistik (GMDS) (1973)
- 39) Ino, H., F. Hazeyama: Experimentelle Untersuchungen über die Verkürzung des calorischen Nystagmus durch wiederholte thermische Reizungen. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 179 (1962) 443
- 40) Jongkees, L. B. W.: Value of the caloric test of the labyrinth. Arch. Otolaryng. 48 (1948) 402
- 41) Jongkees, L. B. W.: Über die Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorgans. Fortschr. Hals-Nasen-Ohrenheilk., Bd. I, Karger, Basel - New York (1953) 1

- 42) Jongkees, L. B. W.: Physiologie und Pathophysiologie des Vestibularorgans. Arch. klin. exp. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 194 (1969)
- 43) Jongkees, L. B. W., A. J. Maas, J. P. M. Philipszoon: Clinical nystagmography. A detailed study of electronystagmography in 341 patients with vertigo. Pract. Oto-rhino-laryng. 24 (1962) 65
- 44) Kahle, W., H. Leonhardt, W. Platzer (Hrsg.): Taschenatlas der Anatomie, Bd. III. Thieme-Verlag, Stuttgart (1976)
- 45) Keidel, W. D. (Hrsg.): Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, 4. Aufl. Thieme-Verlag, Stuttgart (1975)
- 46) Kornhuber, H. H.: Physiologie und Klinik des zentralvestibulären Systems. Hals-Nasen-Ohrenheilk., ein kurzgef. Hdb., III/3 (1966) 2150. Hrsg.: Berendes, J., Link, R., Zöllner, F.
- 47) Kurzeja, A., P. Strauss, A. Heinig, S. Löbner: Vergleich verschiedener Nystagmusparameter mit der gemessenen sog. maximalen Winkelgeschwindigkeit bei der thermischen Erregbarkeitsprüfung. Laryng. Rhinol. 57 (1978) 143
- 48) Minnigerode, B.: Kritisches zur Standardisierung quantitativer Vestibularisprüfungen unter besonderer Berücksichtigung des Frequenznystagmogrammes. Laryng. Rhinol. 53 (1974) 837
- 49) Minnigerode, B., R. Grohmann, W. Bartholome: Zur Problematik der Elektronystagmographie in der klinischen Diagnostik der Vestibulariserkrankungen. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 218 (1977) 123

- 50) Minnigerode, B.: Über den heutigen Stand der Funktionsprüfung des Vestibularis. HNO 25 (1977) 41
- 51) Mittermaier, R.: Die experimentellen Gleichgewichtsprüfungen. In: Hals-Nasen-Ohrenheilk., Hdb., III/1 (1965) 581. Thieme-Verlag, Stuttgart
- 52) Mulch, G., B. Leonardy: Zur Tauglichkeit absoluter "Normalwerte" bei der Beurteilung der thermischen Vestibulärisprüfung. Laryng. Rhinol. 56 (1977) 376
- 53) Mulch, G., B. Leonardy, W. Petermann: Which are the parameters of choice for the evaluation of caloric nystagmus. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 221 (1978) 23
- 54) Mulch, G., B. Leonardy, W. Petermann: Normalwerte der thermischen Labyrinthreaktion. Laryng. Rhinol. 57 (1978) 528
- 55) Mulch, G., W. Petermann: Influence of age on results of vestibular function tests. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl. 87/88 (1978/79)
- 56) Norre, M. E.: Essai d'évaluation des épreuves caloriques chaudes comme screening-test. Revue de Laryngologie 97, N° 1 - 2 (1976)
- 57) Pfaltz, C. R.: Die normale calorische Labyrinthreaktion. Arch. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 192 (1957) 131
- 58) Pfaltz, C. R.: Vestibular diagnosis in Menière's Disease. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 212 (1976) 321

- 59) Pfaltz, C. R., R. Gulick: Die pathologische calorische Labyrinthreaktion. Arch. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 179 (1962) 525
- 60) Ranacher, G.: Nystagmusauswertung am Computer. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 215 (1977) 257
- 61) Reicke, N., G. v. Gärtner: Die thermische Vestibularisprüfung; eine einfache Technik und Normwerte. HNO 25 (1977) 311
- 62) Seibt, A.: Über die intraindividuellen Schwankungen der kalorischen Nystagmusreaktion. Diss. Erlangen (in Vorbereitung)
- 63) Sills, A., R. W. Baloh, V. Honrubia: Caloric Testing, 2. Results in normal subjects. Ann. Otol. 86 (1977) 7
- 64) Smith, J. D., B. F. McCabe, R. F. Ulrich: An unusual form of alerting mechanism in electronystagmography. Ann. Otol. 82 (1973)
- 65) Stenger, H. H.: Schwindelanalyse, Untersuchung auf Spontan- und Provokationsnystagmus. In: Hals-Nasen-Ohrenheilk., Hdb., III/1. Thieme-Verlag, Stuttgart (1965) 540
- 66) Stenger, H. H.: Diskussionsbemerkung zu Claussen: Audiogramm-analoge Auswertungsschemata in der Vestibulometrie. HNO 19 (1971) 314
- 67) Tjerström, Ø.: Nystagmus inhibition as an effect of eye closure. Acta Otolaryng. 75 (1973) 408

- 68) Thomsen, K. A.: The caloric test. Acta Otolaryng. 109 (1953) 189
- 69) Trincker, D.: Physiologie des Gleichgewichtsorgans. In: Hals-Nasen-Ohrenheilk., Hdb., III/1. Thieme-Verlag, Stuttgart (1965) 311
- 70) Veits, C., R. Kosel: Beiträge zur Lehre vom kalorischen Nystagmus. Mschr. Ohrenheilk. 64 (1930) 521
- 71) Wigand, M. E.: Schwindelzustände aus otologischer Sicht. In: Schwindelzustände, Diagnostik und Therapie in der Praxis, Hrsg.: H. H. Wieck. Thieme-Verlag, Stuttgart - New York (1977)

Herrn Prof. Dr. M. E. Wigand danke ich für die Möglichkeit der Erstellung dieser Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. T. Haid für die Überlassung des Themas sowie seine tatkräftige Unterstützung und freundliche Betreuung.

LEBENS LAUF

Name: Werner Karbaumer
Geburt: 26. 07. 1952 in Nürnberg
Eltern: Lorenz Karbaumer, Ehefrau Anna Luise, geb. Loos
Schule: 1958 bis 1962 Volksschule in Nürnberg
1962 bis 1971 Johannes-Scharrer-Gymnasium in Nürnberg
Studium: WS 1971/72 bis WS 1973/74 Sozialwissenschaft an der
Universität Erlangen-Nürnberg
SS 1974 Philosophie, Staatswissenschaft und Pädagogik
an der Universität Erlangen-Nürnberg
WS 1974/75 Rechtswissenschaft an der Universität
Erlangen-Nürnberg
Seit SS 1975 Humanmedizin an der Universität Erlangen-
Nürnberg
Im März 1977 Ärztliche Vorprüfung in Erlangen
Im Mai 1981 Ärztliche Prüfung in Erlangen

Erlangen, im Mai 1981

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197